

## Лекція 9 СПОСОБИ ФОРМУВАННЯ ДІАПАЗОНУ РОБОЧИХ ЧАСТОТ

### 1. Перенесення радіосигналів у діапазон робочих частот

Перенесення радіосигналів, сформованих на одній відносно низькій частоті, в робочий діапазон збуджувача здійснюється шляхом послідовних частотних перетворень. При цьому в якості опорних коливань використовуються високостабільні коливання, які синтезуються з частоти прецизійного кварцового генератора.

Основними вимогами при частотному перенесенні сигналу є:

- лінійність перенесення, тобто збереження структури сигналу;
- відсутність побічних продуктів частотних перетворень.

В якості частотного перетворювача використовується змішувач і фільтр, який виділяє від'ємну або сумарну складову перетвореного сигналу (рис. 1).

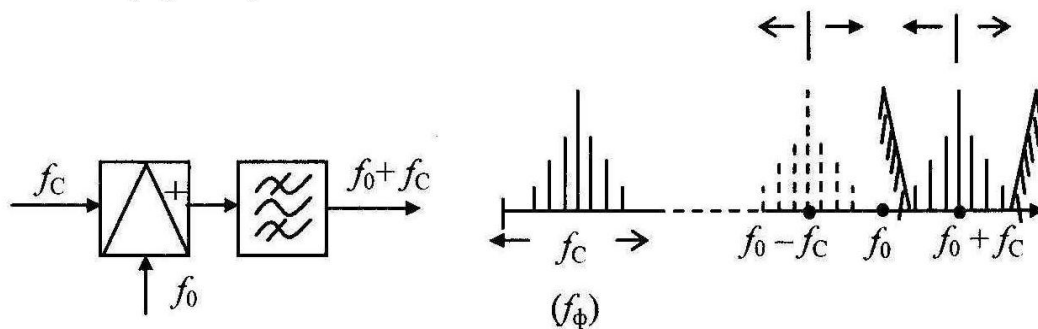


Рис. 1

При цьому виникає проблема ефективного придушення бічних коливань, які не використовуються.

Чим більше частота  $f_0$  відносно  $f_c$  тим більш жорсткі вимоги до характеристики вибірконості фільтра і труднощі його реалізації.

Ця проблема ще більше загострюється якщо сигнал переноситься на змінну частоту – у діапазон робочих частот збуджувача. Тому в реальних збуджувачах здійснюється декілька переносів: спочатку з одних фіксованих частот на інші, а потім – перенос в широкий діапазон.

Інтервал частотного переносу характеризується коефіцієнтом переносу, тобто відношенням вихідної частоти перетворювача до вхідної частоти.

При використанні  $LC$  фільтрів він не більше 10 одиниць; а при кварцових досягає 100.

Крім фільтрів необхідне придушення побічних коливань досягається вибором опорної частоти  $f_0$  таким чином, щоб побічні коливання були далеко за межами частот корисного сигналу і ефективно придушувались. Також використання кільцевих балансних змішувачів усуває побічні коливання парних порядків.

Перенос сформованого на деякій частоті радіосигналу у діапазон робочих частот здійснюється, як правило, при останньому перетворюванні в збуджувачі. При цьому опорне коливання  $f_0$  повинно змінюватися по частоті в межах  $f_{0 \text{ МІН}} \dots f_{0 \text{ МАКС}}$ , що забезпечує діапазон вихідних коливань  $f_{\text{РОБ МІН}} \dots f_{\text{РОБ МАКС}}$ . Наприклад, при від'єному перетворенні  $f_{\text{РОБ МІН}} = f_{0 \text{ МІН}} - f_c$ ;  $f_{\text{РОБ МАКС}} = f_{0 \text{ МАКС}} - f_c$ .

В якості опорного коливання може бути коливання, частота якого змінюється плавно (від генератора з плавною перестройкою) або дискретно (від синтезатора дискретних частот). В обох випадках стабільність опорних коливань повинна бути такою, щоб стабільність вихідних коливань збуджувача була не гірша за необхідну. В сучасних

збуджувачах, в основному, використовуються дискретні частоти опорних коливань з кроком дискретності, що визначає крок дискретної перестройки збуджувача.

Відомо, що імовірність утворення побічних коливань при перетворенні частот тим менше, чим менше коефіцієнт перекриття діапазону по частоті

$$K_f = \frac{f_{0 \text{ МАКС}}}{f_{0 \text{ МІН}}}$$

Відомо також, що  $K_f$  зменшується при переміщенні діапазону вгору. Наприклад, при  $D_{f_0} = 20 \dots 30$  МГц –  $K_{f_0} = 1,5$ ; при  $D_{f_0} = 50 \dots 60$  МГц –  $1,2$ ; ( $\Delta f = 10$  МГц). Тому при переносі сигналу у діапазон робочих частот діапазон опорних коливань зміщують вгору поза робочий діапазон і роблять його невеликим, меншим чим робочий діапазон. Для перекриття робочого діапазону сигнал формують на декількох фіксованих частотах, різниця між якими дорівнює діапазону опорних частот (рис. 2).

На прикладі рис. 2  $\Delta f_0 = 10$  МГц;  $K_{f_0} = 1,1$ . Робочий діапазон збуджувача 1,5 – 30 МГц має три піддіапазони, внаслідок того, що  $f_c$  формується на трьох фіксованих частотах.

Сумарна складова вихідного сигналу  $f_{\Sigma} = f_0 + f_c$  знаходиться далеко поза частотою зрізу фільтра нижніх частот і ефективно ним придушується.

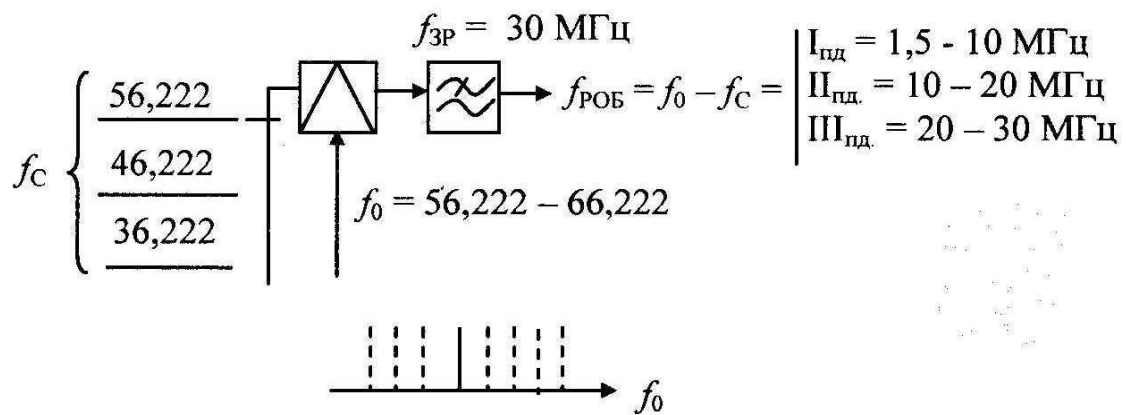


Рис. 2

Можливі й інші варіанти формування діапазону робочих частот, при яких діапазон опорних частот поділяється на піддіапазони, а вихідний робочий сигнал виділяється смуговими фільтрами ([1], с. 83), які переключуються по піддіапазонах.

Однак, застосування широкосмугових фільтрів вихідних коливань не завжди забезпечує придушення комбінаційних коливань виду  $[m f_0 \pm \pm n f_c]$  які можуть знаходитися в їх смузі пропускання. Найбільш ефективним способом їх придушення є застосування вузькосмугових фільтрів, які перестроюються по діапазону. Широко використовуються фільтри з дискретною перестройкою, які являють собою магазини дискретних індуктивностей і ємностей, а також активні фільтри.

Перенос сигналу у діапазон робочих частот пов'язаний з багатократним перетворенням його частоти. При цьому для ослаблення комбінаційних коливань рівень сигналу на входах змішувачів повинен бути мінімальний. Внаслідок цього, а також внаслідок втрат в перетворювачах потужність сигналу на виході збуджувача буде невеликою і недостатньою для збудження каскадів тракту підсилення радіопередавача. Тому після останнього перетворення сигнал підсилюється до заданого рівня потужності (десятки мВт, одиниці Вольт) місцевим підсилювачем. Підсилювач має ручне або автоматичне регулювання підсилення. Це необхідно тому, що тракт підсилення передавача має неоднакове підсилення в межах діапазону частот і потребує різного рівня сигналу від збуджувача.

Розглянуті принципи формування сигналів і діапазону робочих частот дозволяють скласти узагальнену структурну схему сучасних збуджувачів радіопередавачів у наступному вигляді (рис. 3).

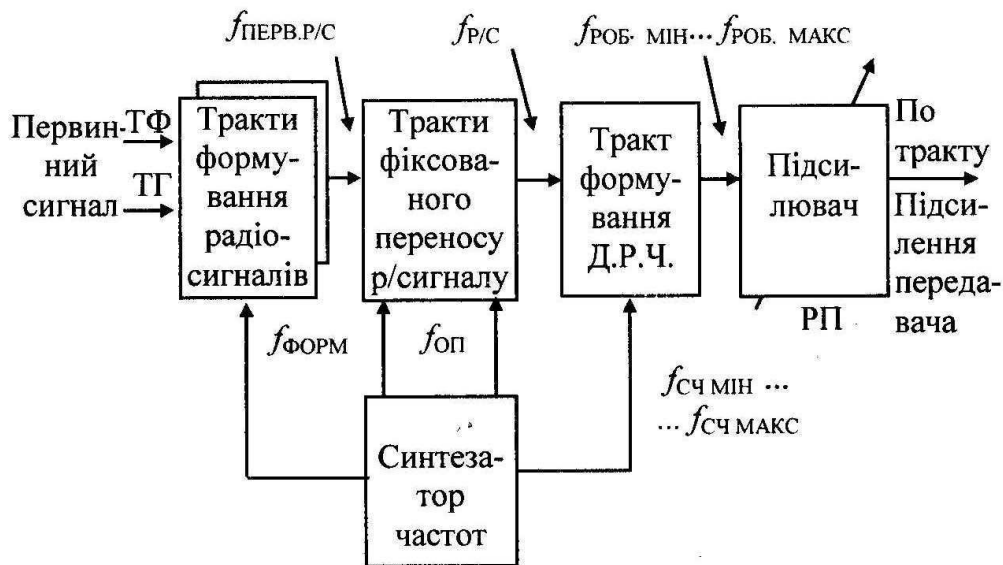


Рис. 3

## 2. Вимоги до систем формування дискретних частот

При розгляданні способів формування радіосигналів і переносу їх у діапазон робочих частот вважалося, що опорні коливання, які використовуються у перетворювачах, формуються у деякому пристрої – синтезаторі частот.

В подальшому під синтезатором частот будемо розуміти пристрій, в якому формуються, як окремі фіксовані частоти так і сітка частот в деякому діапазоні шляхом перетворень частоти одного прецезійного автогенератора. При цьому стабільність частоти вихідних коливань синтезатора не гірша за стабільність частоти прецезійного (опорного) генератора. В якості опорного генератора зазвичай використовується кварцовий автогенератор. Часто такі системи називають системами діапазонно-кварцової стабілізації частоти (ДКСЧ).

До синтезатора частот пред'являється наступні вимоги:

1. Формування сітки частот в заданому діапазоні  $f_{СЧ\text{ МІН}} \dots f_{СЧ\text{ МАКС}}$ , тобто з заданим коефіцієнтом покриття

$$K_f = \frac{f_{СЧ\text{ МАКС}}}{f_{СЧ\text{ МІН}}}$$

Цей діапазон частот може співпадати з діапазоном робочих частот збуджувача або є основою для отримання більш широкого робочого діапазону з допомогою додаткових перетворювань.

2. Формування сітки частот з необхідним кроком дискретності  $\Delta f_c$ ; і кількості фіксованих частот  $N_{сч}$

$$N_{сч} = \frac{f_{сч\text{ МАКС}} - f_{сч\text{ МІН}}}{\Delta f_c}.$$

В сучасних збуджувачах  $\Delta f_c = 1$  Гц; 10 Гц; 100 Гц.

3. Стабільність частоти вихідних коливань. Вона задається величиною абсолютної  $\Delta f_H$ , або відносної нестабільності

$$\delta_f = \frac{\Delta f_H}{f_{сч\text{ МАКС}}}.$$

Розрізняють короткотермінову (за добу) і довготермінову (за півроку) нестабільність. Як було доведено раніше, при роботі одно-смуговими, а також фазоманіпульованими сигналами довготермінова нестабільність повинна бути порядку  $\delta_f = 10^{-7}$ .

4. Міра придушення побічних дискретних коливань і шумів.

Побічні дискретні коливання (гармоніки, комбінаційні коливання) утворюються внаслідок частотних перетворень сигналу. Шуми є результатом паразитної модуляції сигналу шумами різного походження. Вони знаходяться в смузі частот сигналу і випромінюються передавачем.

За існуючими нормами придушення побічних коливань і шумів повинно бути не менше 80 дБ в ділянці частот від  $\pm 3,5$  кГц до  $\pm 25$  кГц відносно несучої сигналу.

5. Час перестройки з однієї частоти на іншу повинен бути мінімальним (одиниці мс і менше).

6. Потужність вихідних коливань повинна бути мінімально необхідною. Це полегшує усунення побічних коливань і паразитних електромагнітних наводок.

Розглянуті вимоги реалізуються шляхами раціональної побудови синтезаторів. Деякі з цих шляхів розглядаються нижче.

### 3. Методи формування дискретних частот

За методами формування (синтезу) дискретних частот і способами фільтрації побічних коливань системи синтезу частот можна поділити на два класи:

1. Системи прямого (пасивного) синтезу частот.
2. Системи непрямого (активного) синтезу частот.

**Прямий синтез** частот забезпечує отримання заданої частоти із частоти опорного генератора шляхом простих арифметичних дій: множення, ділення, додавання, віднімання.

Перші дві дії дозволяють отримати із частоти  $f_0$  більш високі  $K_1 f_0$  і більш низькі  $f_0 / K_2$  частоти, де  $K_1$  і  $K_2$  – цілі числа. Послідовне здійснення операцій дає можливість отримати частоти з дробовим коефіцієнтом  $K_1 / K_2 f_0$ . Утворені таким чином частоти, якщо вони не відповідають заданим, можна послідовно додавати або віднімати.

Частота  $f_0$  буде загальним множником при всіх операціях. Тому її можна представити у вигляді деякого оператора  $V$ . Тоді частота, що синтезується, може бути записана як

$$f = V f_0, \quad (1)$$

тобто лінійним рівнянням.

Якщо опорна частота має нестабільність  $\Delta f_0$ , то синтезуєма частота також буде мати нестабільність  $\Delta f$ . Внаслідок лінійності (1) маємо

$$V f_0 + V \Delta f_0 = f + \Delta f; \quad \Delta f = V \Delta f_0. \quad (2)$$

Таким чином, відносна нестабільність синтезованого коливання буде

$$\delta_f = \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta f_0}{f_0}. \quad (3)$$

Це означає, що відносна нестабільність синтезованої частоти визначається нестабільністю первинного опорного генератора.

Практична реалізація прямого частотного синтезу зводиться до знаходження оптимальних операторів які:

- забезпечують отримання необхідних частот при найменшому числі операцій;
- придатні для отримання більшості з множини синтезуємих частот.

В системах непрямого (активного) синтезу частот в якості джерела вихідних коливань синтезатора використовується автогенератор, що перестроюється за частотою. Нестабільність автогенератора усувається шляхом його автоматичної підстройки системою ФАПЧ або ЧАПЧ, в яких опорним коливанням є високостабільне коливання сітки частот.

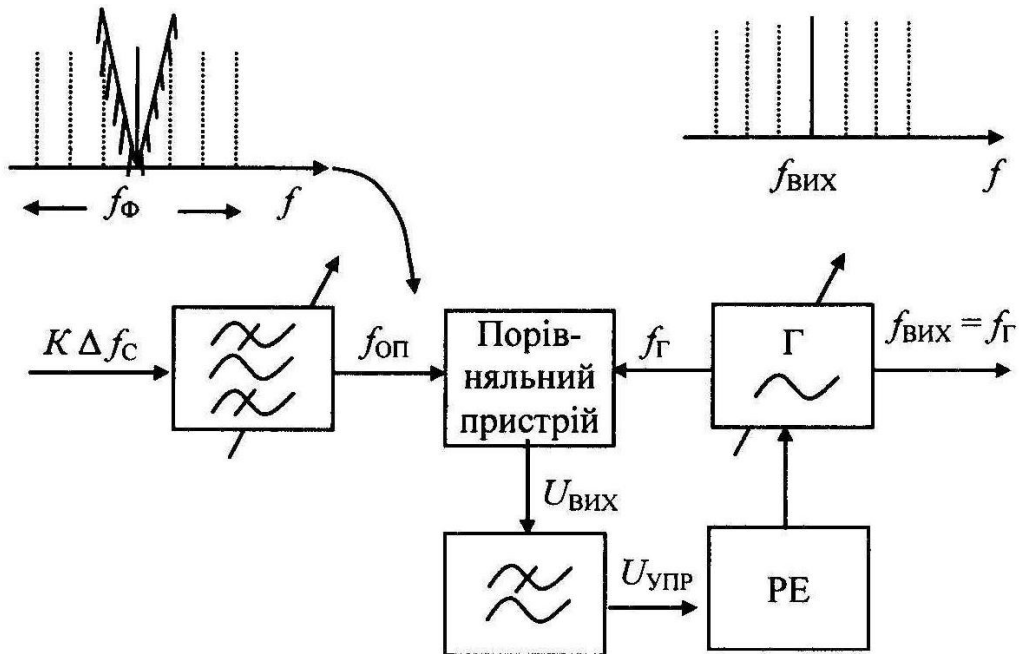


Рис. 4

На рис. 4 зображена спрощена структурна схема синтезатора сітки частот з непрямым методом формування. Опорна високостабільна сітка частот  $K \Delta f_c$  формується методом прямого синтезу. При перестройці синтезатора змінюється частота настройки смугового фільтра  $f_\Phi$ , який виділяє коливання однієї з частот сітки. В порівняльному пристрої частота коливань генератора "Г" порівнюється з частотою опорного коливання.

Якщо частоти неоднакові, то напруга порівняльного пристрою, форма і величина якої залежить від розходження частот, фільтрується у фільтрі нижніх частот і подається на реактивний елемент (РЕ) в якості управляючої напруги. З допомогою реактивного елемента, який включений в контур автогенератора, змінюється частота коливань останнього доти, поки частоти  $f_{оп}$  і  $f_\Gamma$  не зрівняються. Таким чином, генератор на своєму виході буде репродукувати сітку частот.

В залежності від параметра, за яким порівнюються коливання генератора і сітки, існують системи з частотною і фазовою

автопідстройкою частоти (ЧАПЧ і ФАПЧ). Схеми і принципи роботи цих систем різні і потребують окремого розглядання.

### **Питання для власного контролю та повторення**

1. Як забезпечується перенос первинного радіосигналу у діапазон робочих частот?
2. Якими заходами зменшується кількість і рівні побічних коливань при переносі радіосигналу у діапазон робочих частот?
3. В чому є сутність прямого методу синтезу частот?
4. В чому є сутність непрямого методу синтезу частот?